

気液2相型アルゴン検出器 による低質量暗黒物質探索

ANKOK実験

(B01,B02班関連)

寄田浩平 (早大理工)

22.May.2017@岡山大学

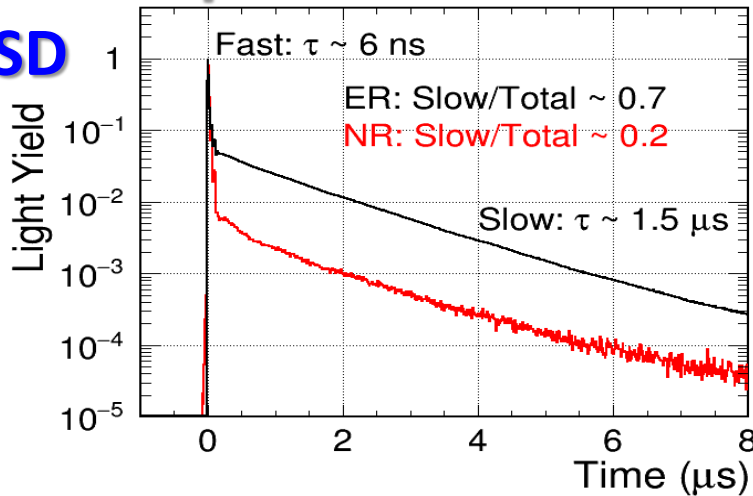
新学術領域「地下素核研究会」

ANKOK実験

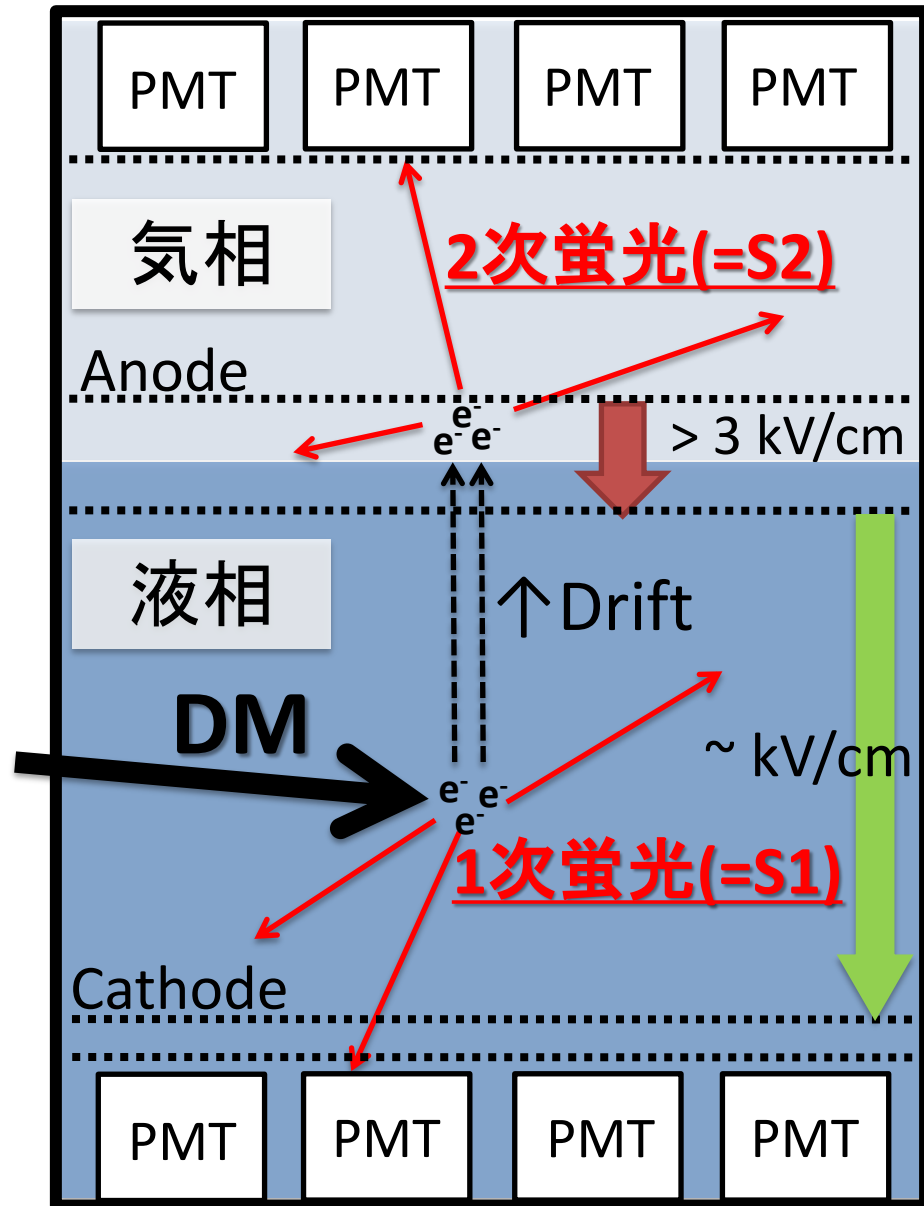
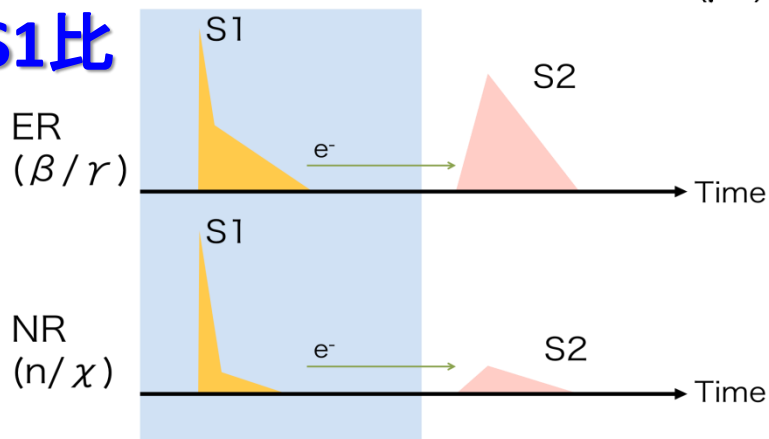
◆ 気液2相型Ar光検出器 によるDM探索実験

◆ 強力な γ 線分離能力:

S1 PSD



S2/S1比



早稲田メンバー(2017年度) p3



スタッフ: 教授1名、研究員2名

学生: 博士6名、修士9名、B4生6名

前回(H27,28)→今回(H29.H30)

p4

新学術（公募）－8

前回の公募研究の成果等

本欄には、平成26年度開始の研究領域における公募研究に採択されていた研究者が、同一領域の公募研究に応募する場合、前回の研究成果や領域の推進への貢献状況について記述してください。なお、前記に該当しない場合は「該当なし」と記載してください。

注) 公募研究の研究期間は2年間（領域設定期間の2～3年目及び4～5年目）で、領域設定期間の1年目と3年目に当たる時期に公募が行われます。

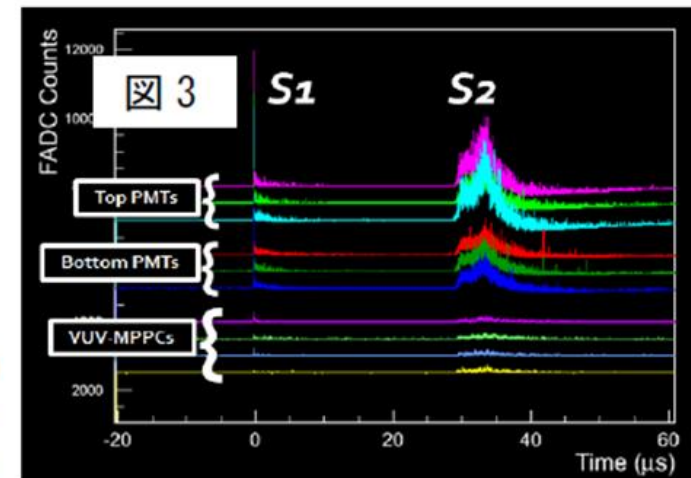
前回の公募研究(H27, H28)は多岐にわたり、とくに本領域内の専門家との議論を通じて加速的に進めることができた。以下にその概要をまとめる。

<前回公募研究による成果>

前回公募研究の課題として掲げていた3つの課題、

- ① 検出光量の最大化
- ② VUV-MPPC(128nm 直接検出)の開発→実装
- ③ 本実験検出器(有効質量 30kg)の設計

は全て完遂することができた。検出光量は、波長変換材 TPB の真空蒸着方法の最適化、高 QE-PMT の利用、徹底した Ar 純化(特に窒素ゲッター導入)等の地道な努力により、世界



＋中性子測定コンソーシアム＋B02班若手研究会等。

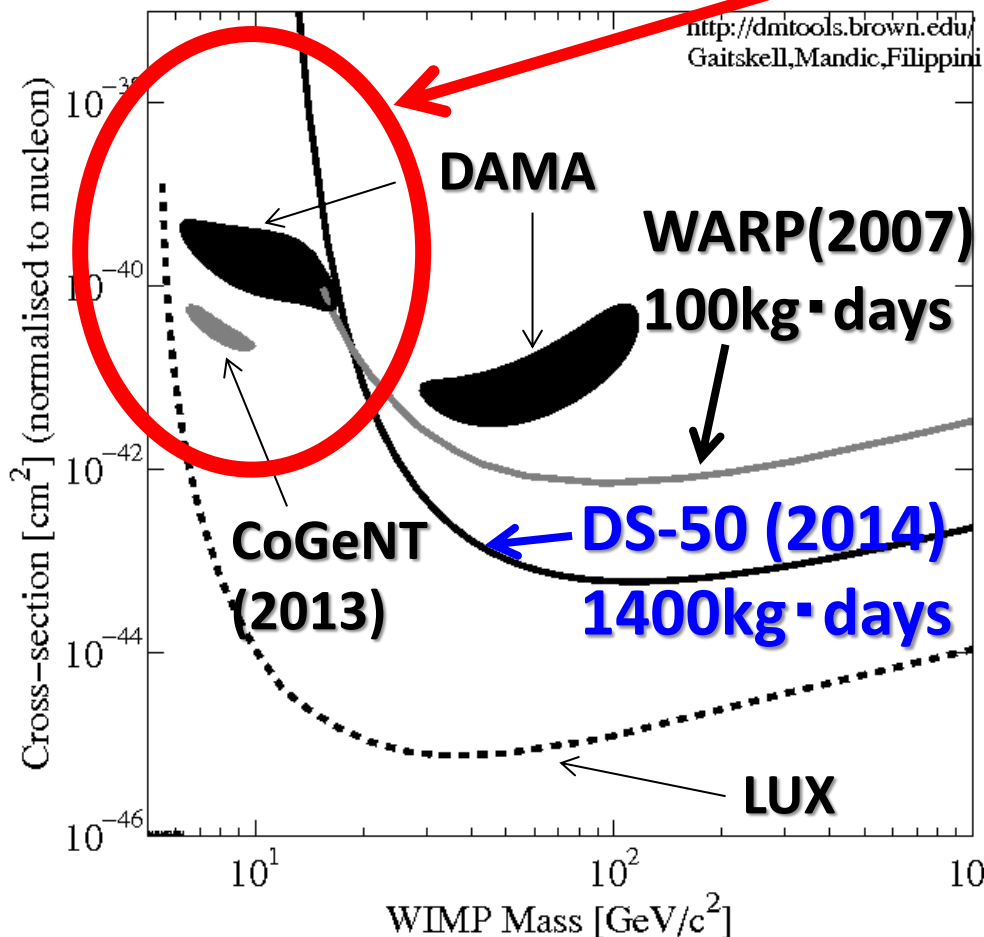
→ 継続的かつ多角的に促進していく計画です。

前回に引き続き、宜しくお願い致します。

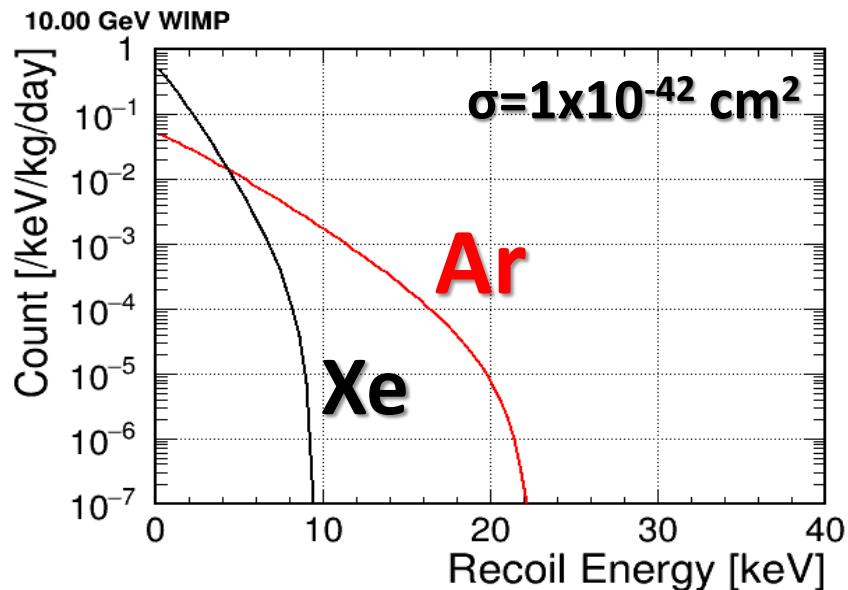
過去2年間（H27-28年度）の業績 （報告書に記載したもの）

- ◆ 学術論文：5報（proceedings含）
- ◆ 国際会議：6件（LIDINE, ISRD, ICHEP等）
- ◆ 学会・研究会発表：26件（うち招待講演5件）
- ◆ その他：
一般講演会の開催、若手研究会の開催等々

ANKOK実験のターゲット



10GeV WIMPの反跳

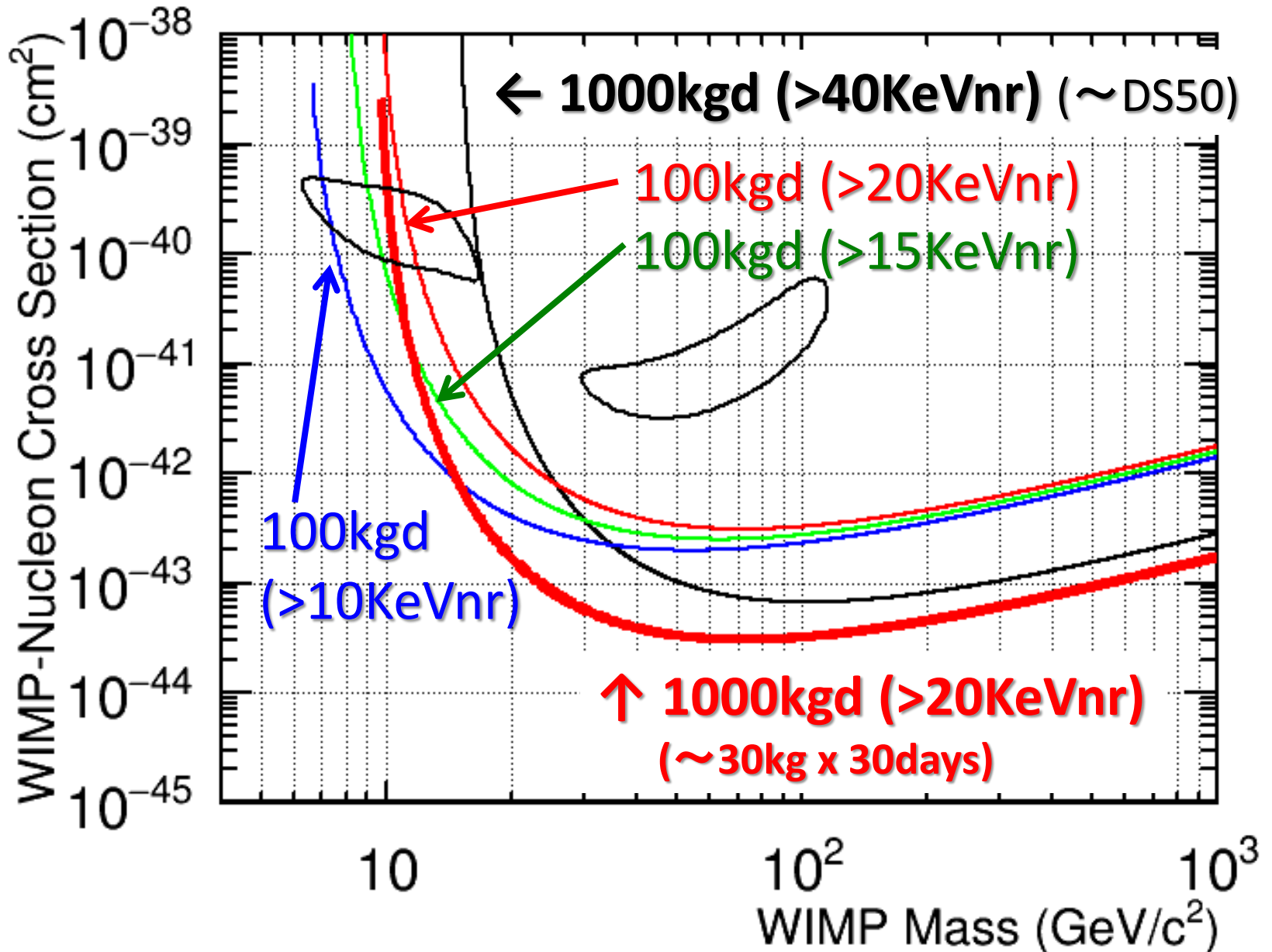


→原子核反跳 20 keV以下の探索のための開発が鍵

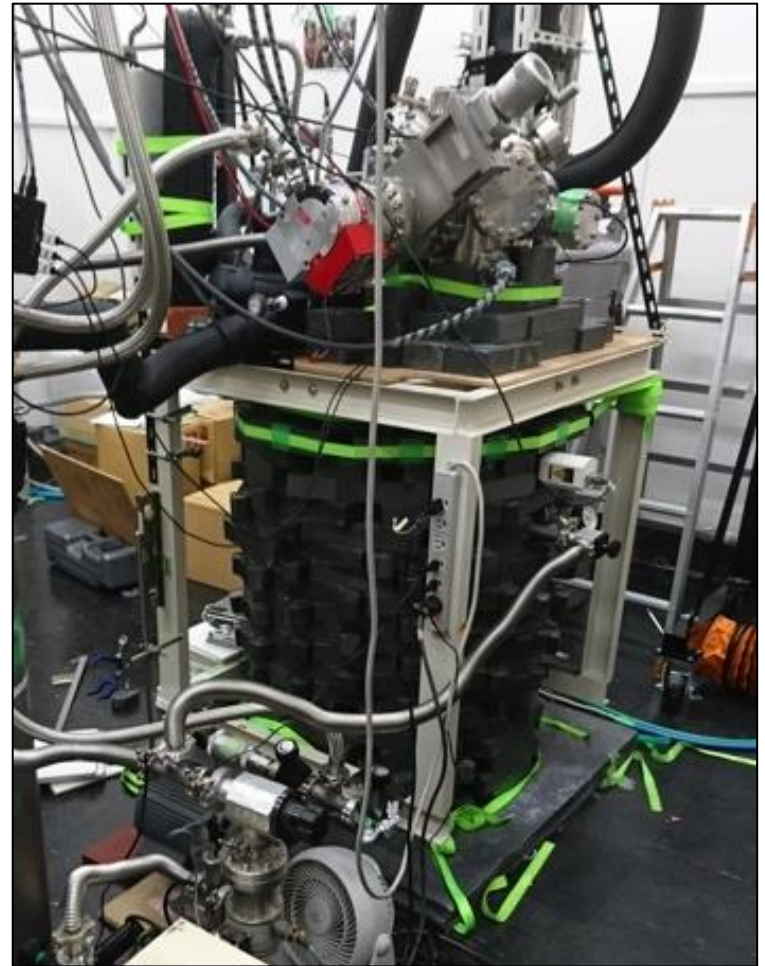
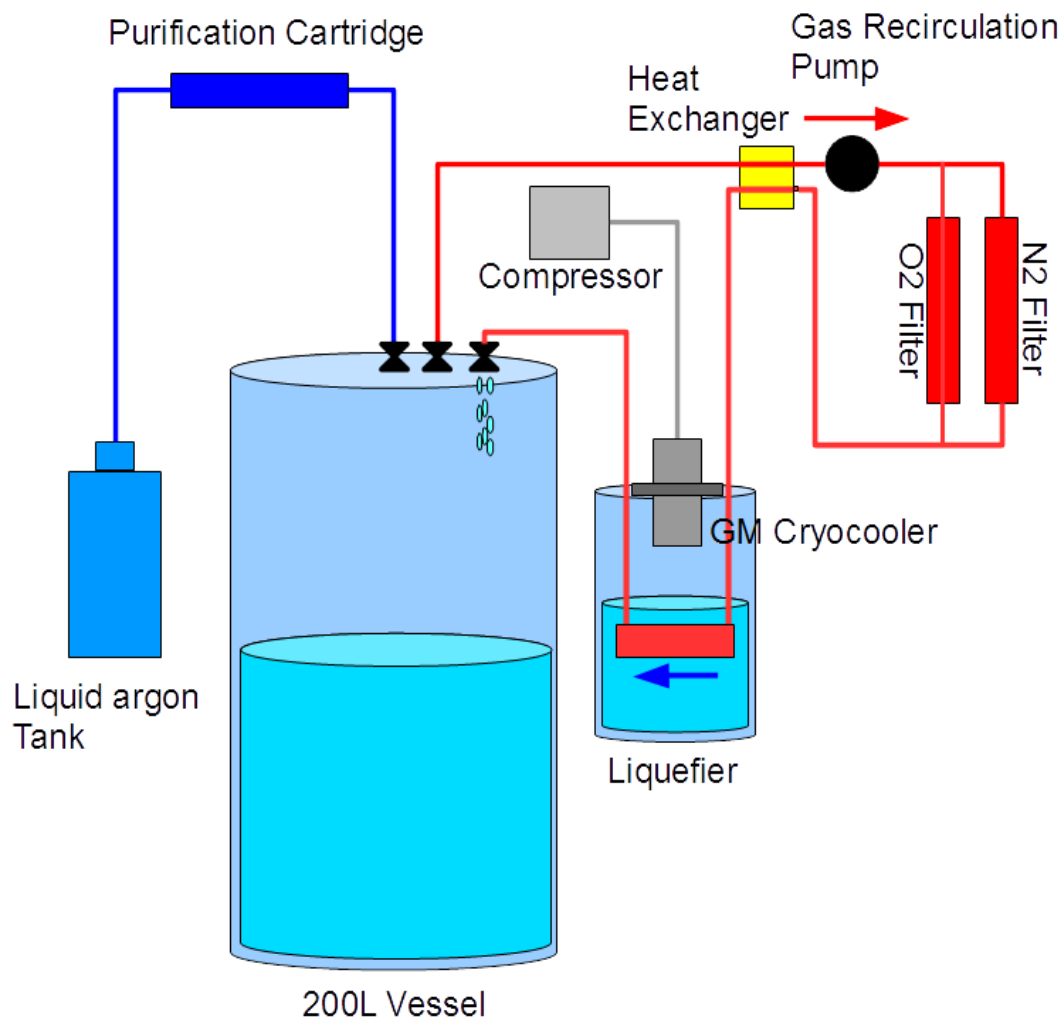
★DS50, WARP: 40keV以上

- ✓ Ar媒質(軽元素&2相)による検証 → 新しい見地・情報
- ✓ Ar2相式TPC技術開発 → 128nm@87K、純化、高電圧等
- ✓ 小規模・安価・高感度 → 費用対効果大 → 多地点測定

DAMA領域検証感度



Test-Stand at Waseda Campus ^{p7}



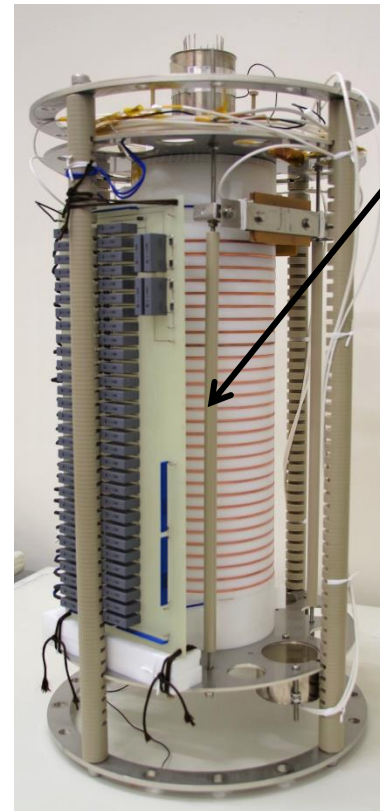
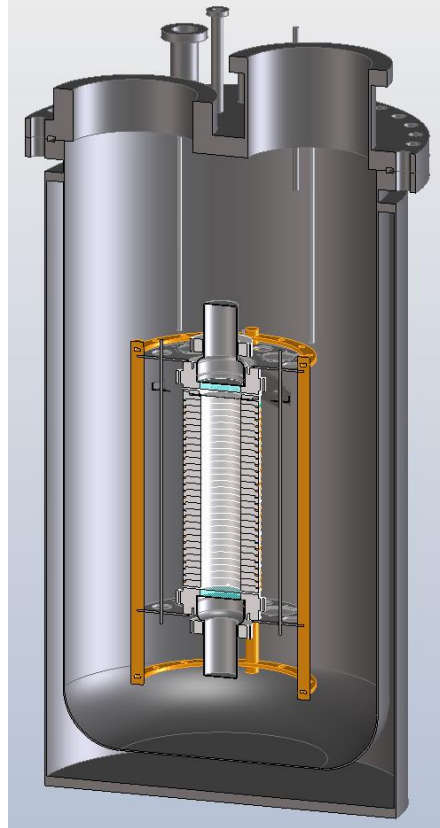
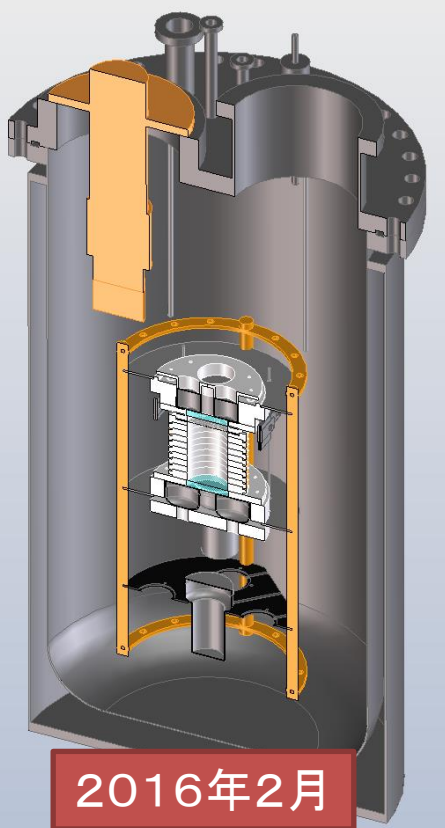
◆ 配管系、スローモニター、充填の様子や時間等、種々の性能評価の詳細は、ポスター発表(→矢口君)参照。

プロトタイプ検出器

◆ 鉛直方向: $Z = 10 \rightarrow 30\text{cm}$ (本検出器長) に延長

→ 高電圧 ($> 1\text{ kV/cm}$: $> 30\text{ kV}$) 印加、電場形成の検証

→ 鉛シールド効果の検証とAr39の(初)観測



30段CW回路の
設計・製作完了
(電場成形・一様性
はFEMTETで評価)

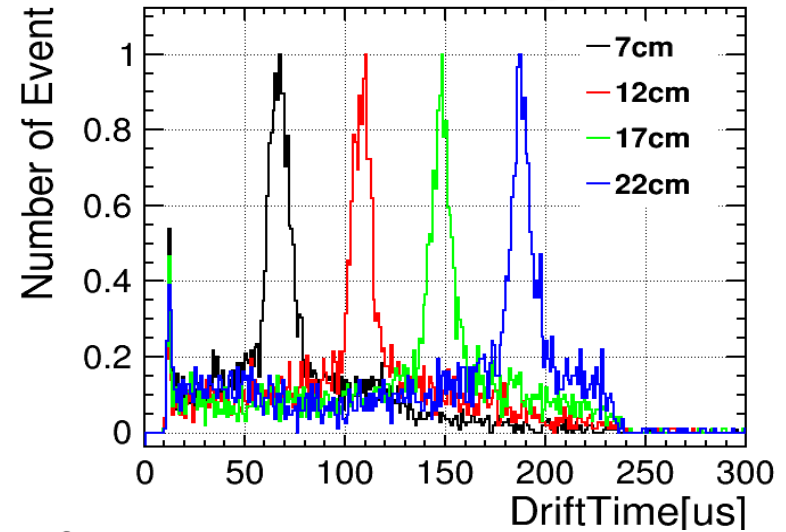
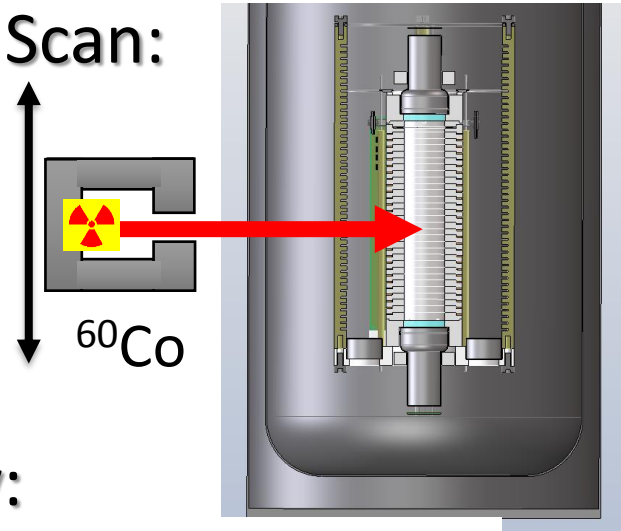
→ 10月のRunにて、
最終段電圧40kV

(1.3kV/cm)を達成

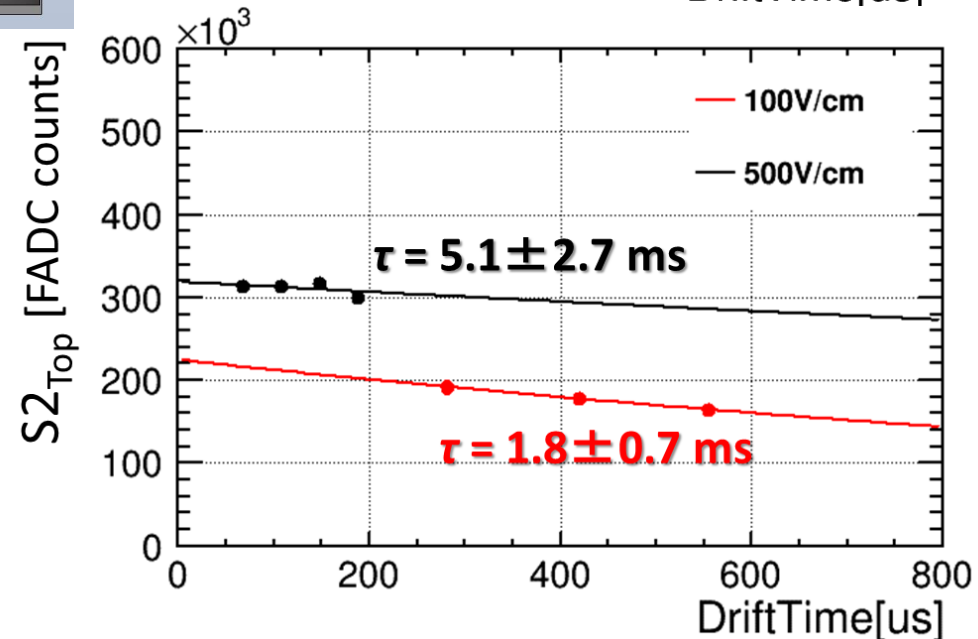
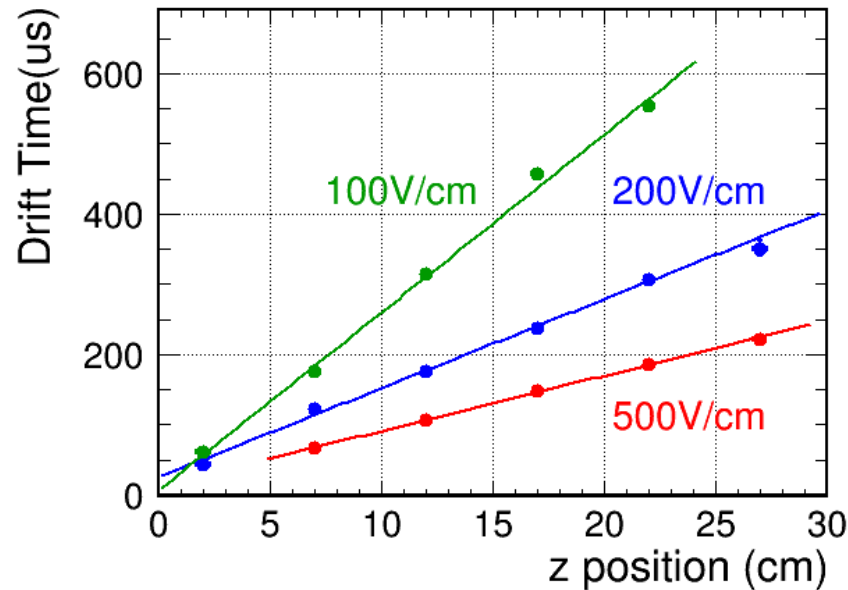
→ 放電対策を
さらに強化中

Ar Purity (S2 attenuation)

◆ Position Scan:



◆ Linearity:

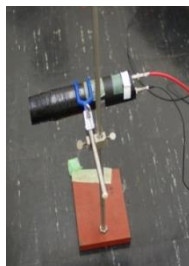


Electron Drift Life Time: $> 1 \text{ ms} \rightarrow$ Currently pure enough (for 30cm drift)

環境 γ 線の測定と理解

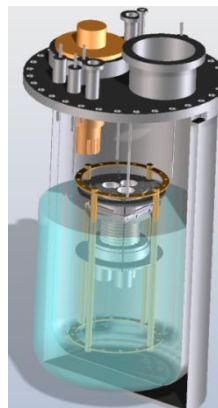
◆ NaIシンチレータを用いて実験場所 (@早大)での環境 γ 線測定と分析

→ 各成分(U/Th/Cosmic等)のフラックス算出



◆ 液体Ar検出器への適用:

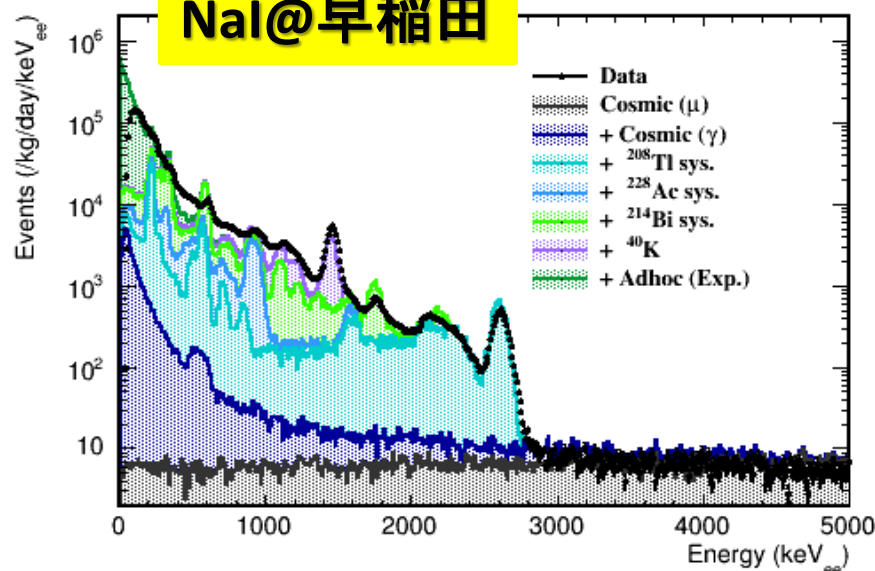
NaI測定で得た成分比とフラックスで環境 γ 線を入射
★ 独自の液体Ar応答モデル
★ G4シミュレーション構築
→ シミュレーションが非常に良い精度でデータを再現



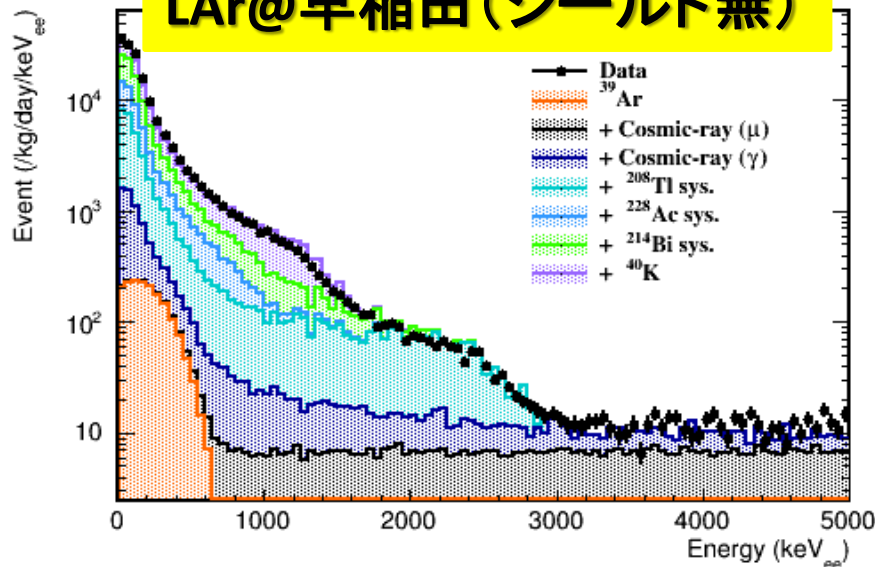
→ 内部BG(^{39}Ar (1Bq/kg)) \ll 環境 γ

**^{39}Ar (や他の内部BG)の理解:
→ 適切なシールド量の算出**

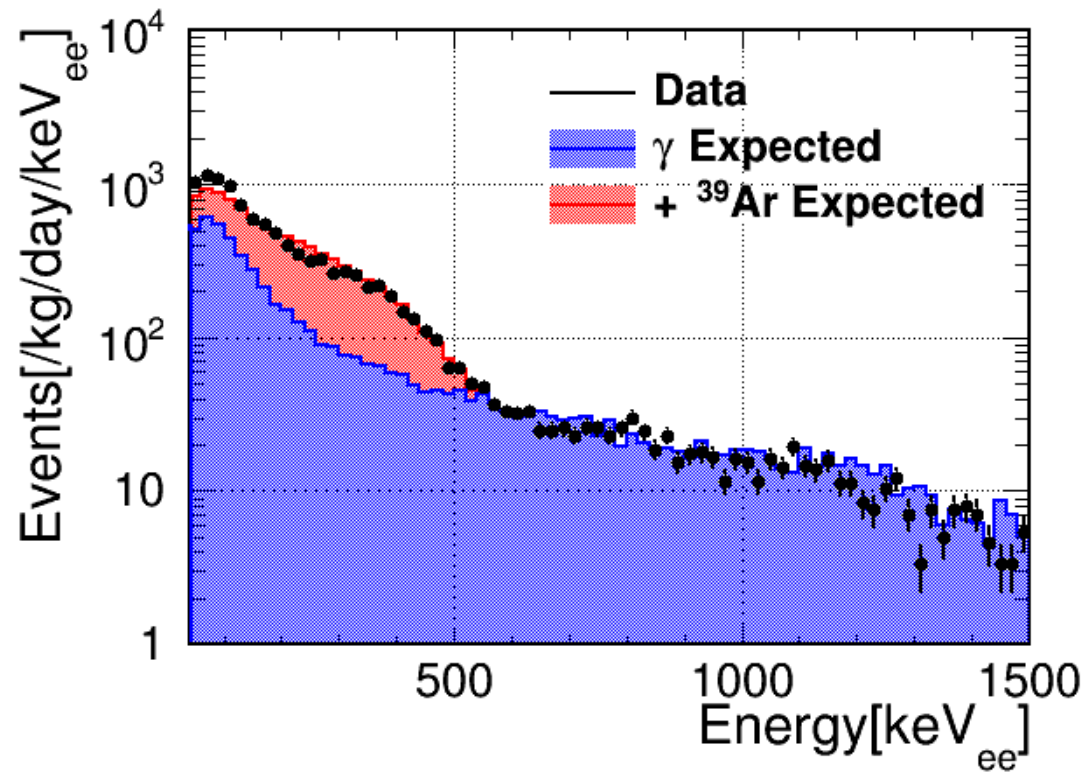
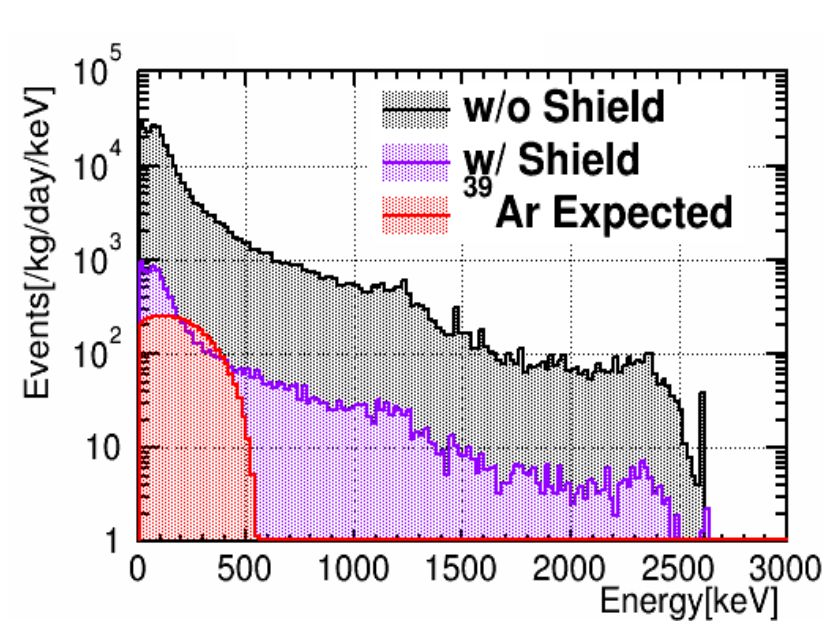
NaI@早稲田



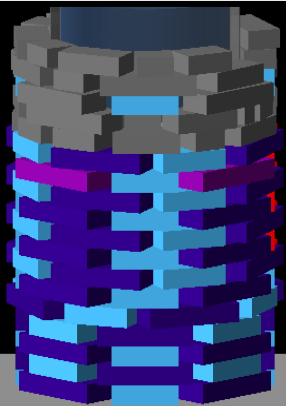
LAr@早稲田(シールド無)



^{39}Ar ($\sim 1\text{Bq/kg}$) の観測



鉛実装(G4)



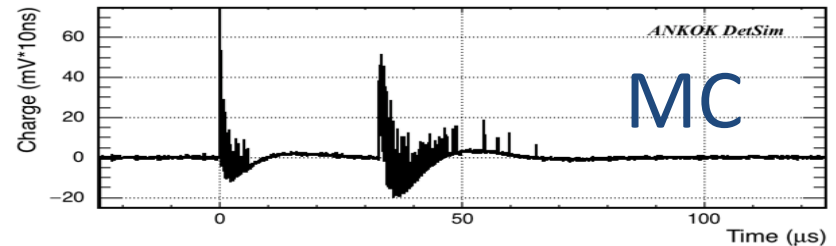
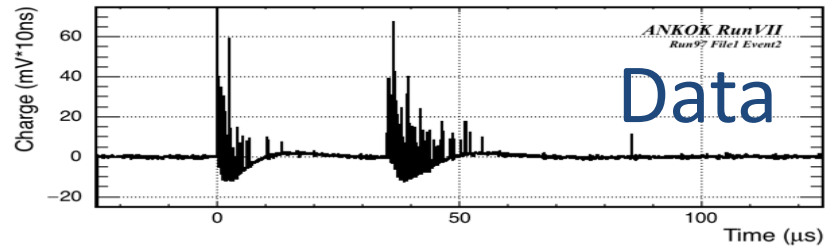
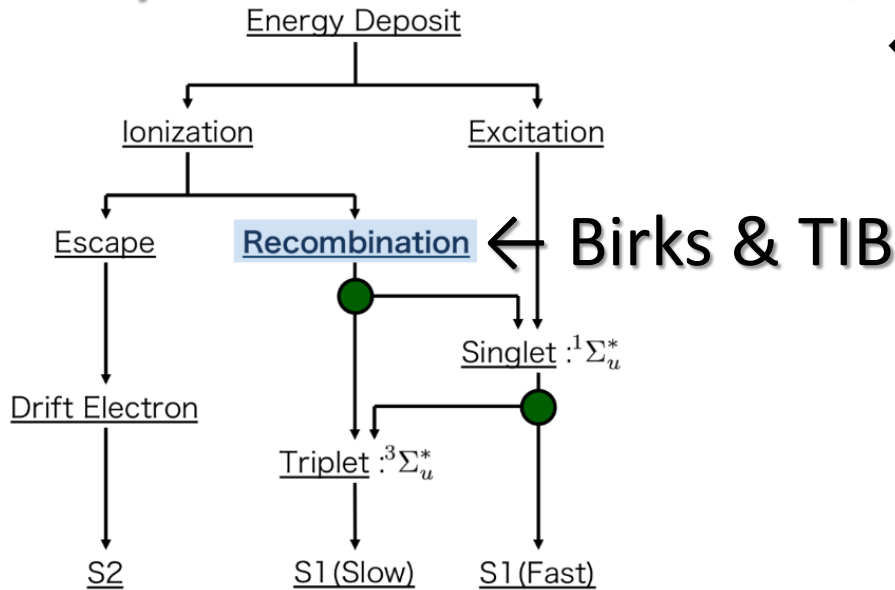
- ◆ 期待通り、 ^{39}Ar 成分の初観測に成功
とくに低エネルギー閾値付近を詳細に解析中。
($\sim ^{39}\text{Ar}$ を定量的に確認 \rightarrow 必要条件の算出)
 \rightarrow ^{39}Ar は、粒子識別で除去する必要があるため、
PSD & S2/S1の評価・最適化が実験の鍵。

ANKOK Simulation

◆ Physics model

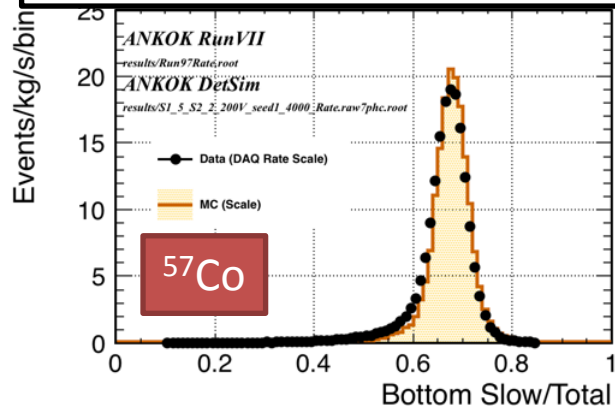
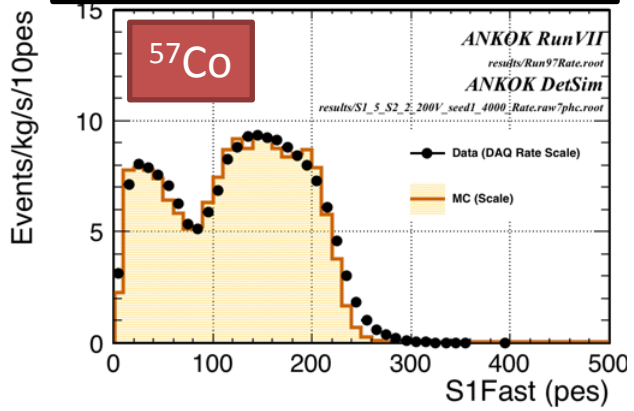
→ Implemented in GEANT4

◆ Event by event Pulse shape



S1 Spectrum@200V/cm

PSD Spectrum@200V/cm



Still on going...

- S2 behavior
- E-field dependence
- Detailed optical sim..

低エネルギー閾値化へ

□ DAQ閾値 (SIS3316: 250MS, 12bit):
 > 5keVnr(1.25keVee) → **OK!**

■ 2つの鍵(課題):

(1) S2/S1比の利用と電場依存性:

→ とくに高電場、低エネルギーでの振舞い
 (高い識別力: Xe2相型で証明済)

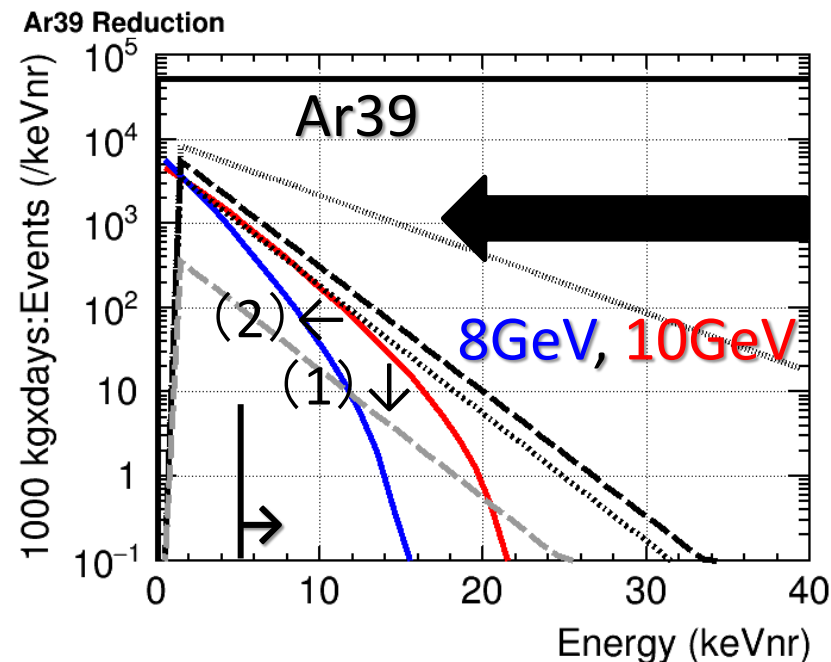
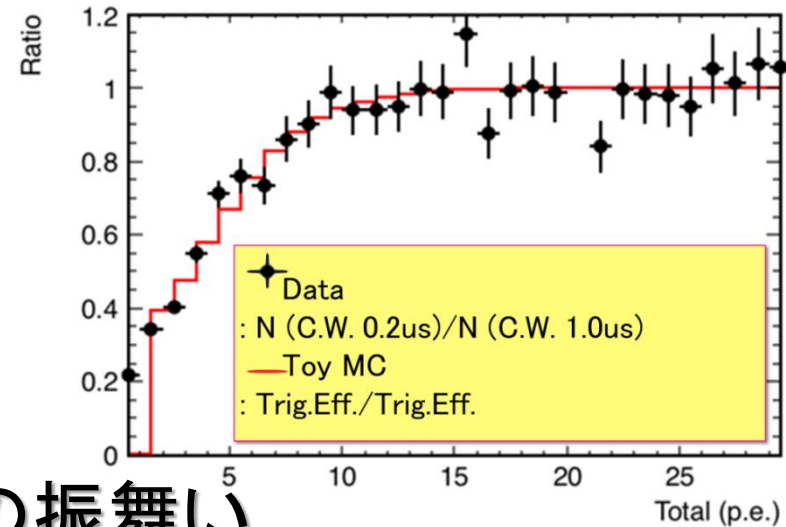
(2) 超大光量化 (> 15 pes/KeVee)

TPB + PMT ~ 30% @ 420nm

★ 現在最大: 10pes @ Max

→ >50% @ SiPM or
 even VUV-sensitive?

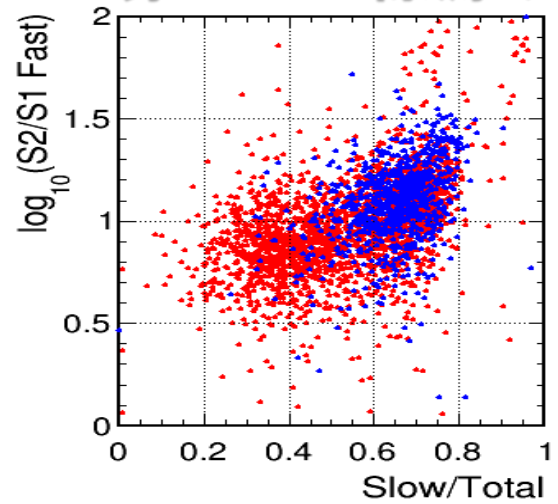
→ PSD power scales by LY



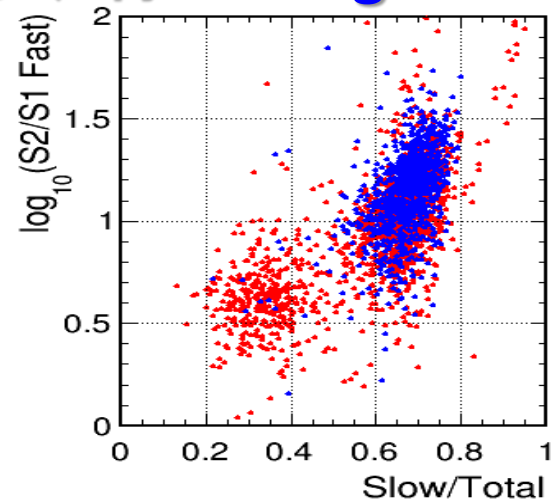
2D-PID分布(S1PSD vs S2/S1)

赤: ²⁵²Cf線源データ、青: Backgroundデータ

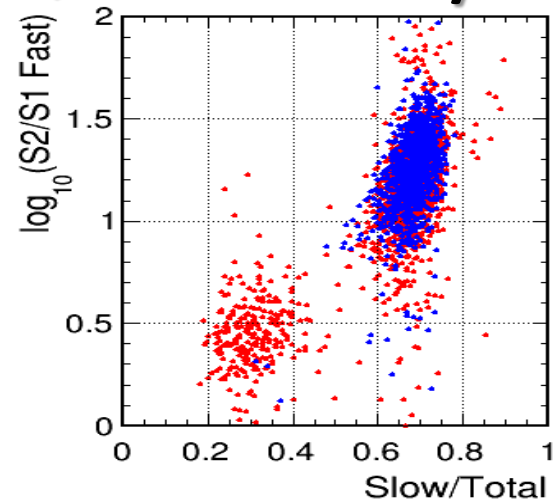
E = 500V/cm



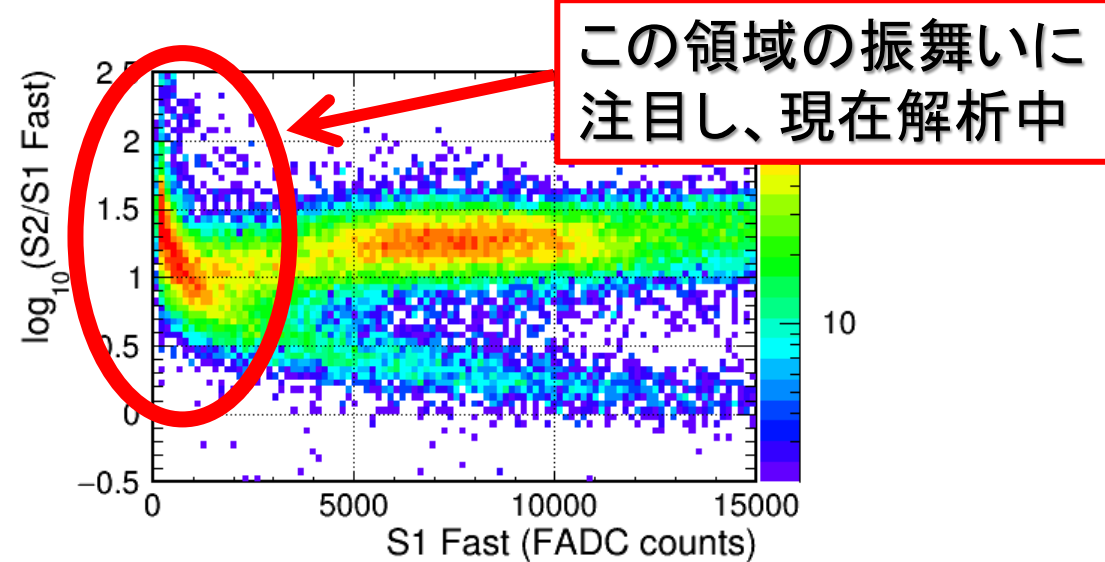
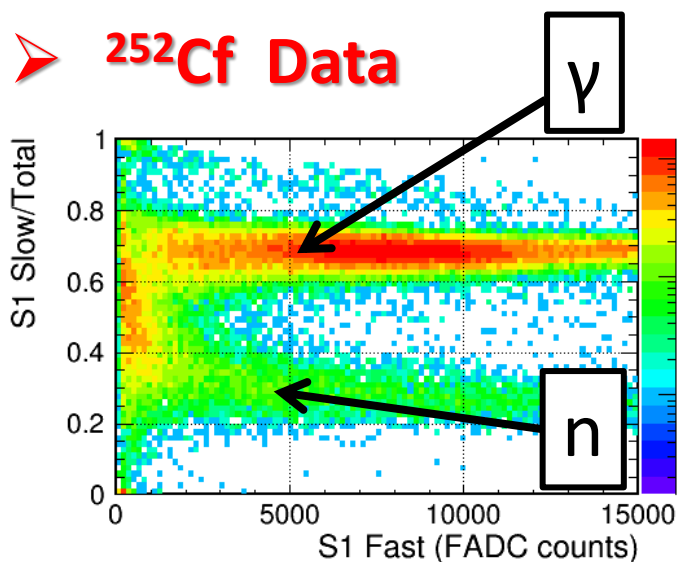
20KeVnr領域



50KeVnr領域



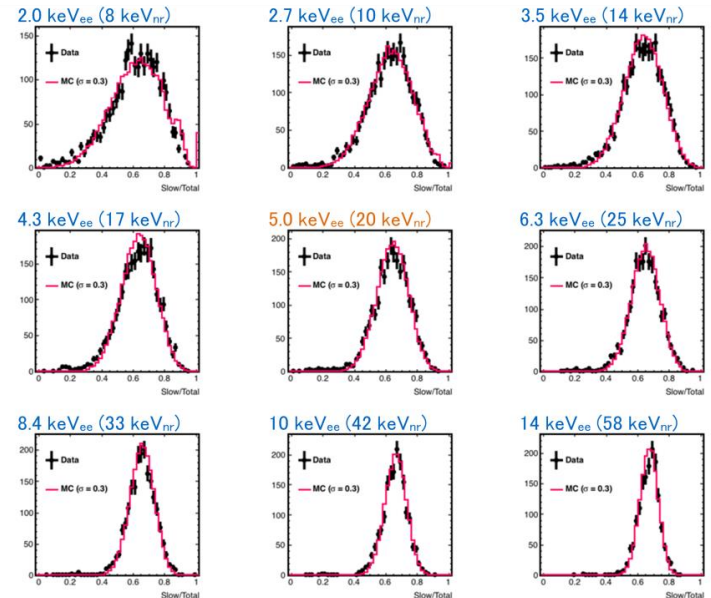
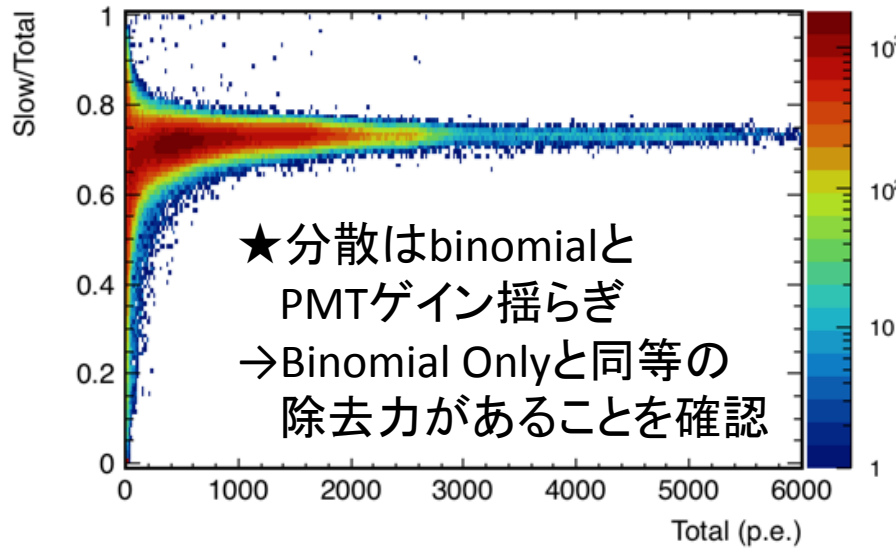
80KeVnr領域



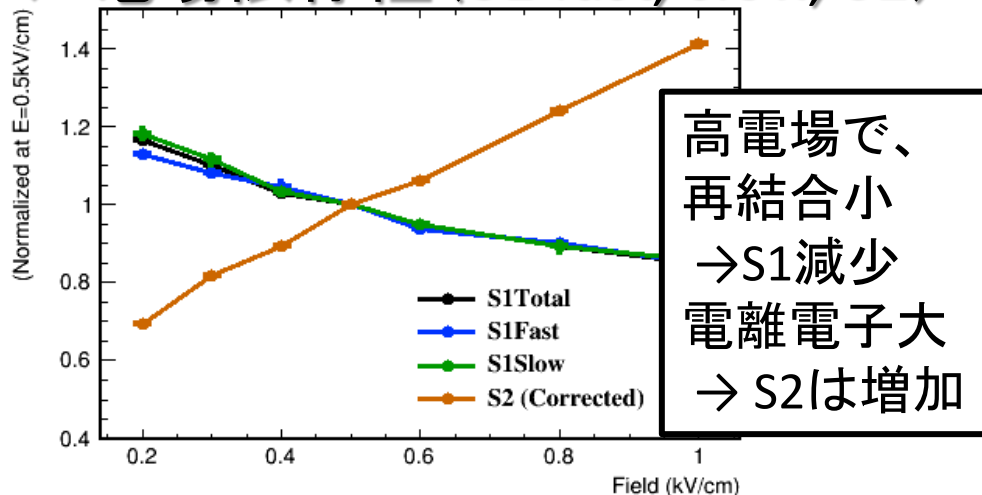
この領域の振舞いに注目し、現在解析中

Pure ER Data Analysis

◆ Pure ER events by ^{22}Na (B2B) → PSD Fit at each energy from 2keV_{ee} to 14 keV_{ee}



◆ 電場依存性 (S1 fast, slow, S2)



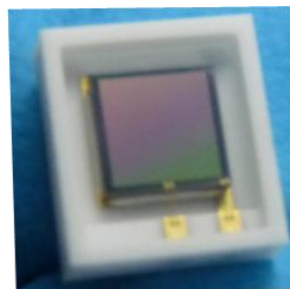
◆ 近日中の予定:

- ① Pure NR Data取得 (TOF + 反跳角)
→ NRモデリング @ 低エネルギー
- ② 高電場でのS2/S1振舞い理解
→ ER/NR識別 @ 低エネルギー
→ 最適な実験パラメータの決定

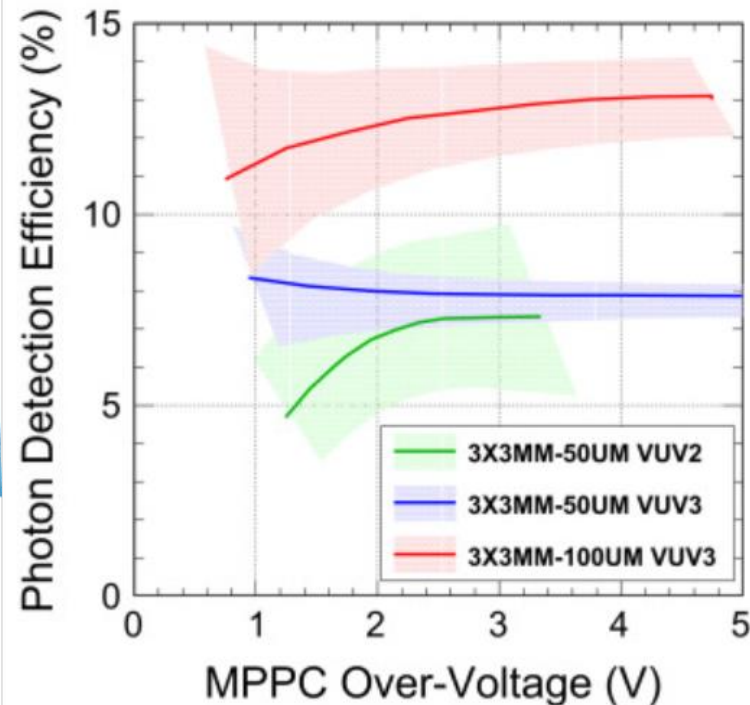
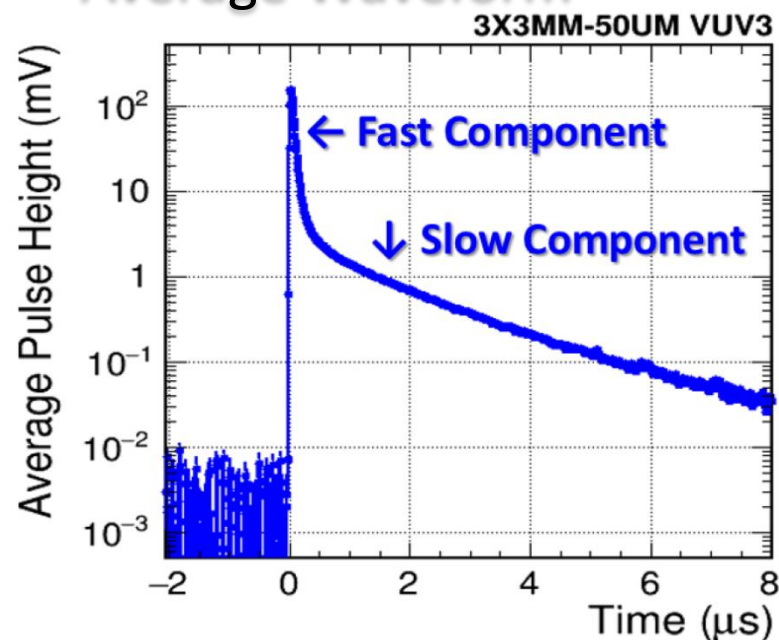
R&D on VUV-sensitive MPPC

◆ VUV3 MPPC: (SiPM)

- Developed by Hamamatsu
- Direct sensitivity to 128 nm
- chip size: 3 mmx 3 mm
- pixel pitch : 50/100 μm



✓ Average Waveform



- ◆ First observation of LAr scintillation light using MPPC(SiPM) w/o WLS.
- ◆ VUV3 PDE: $\sim 8\%$ (50 μm) $\sim 13\%$ (100 μm)
- ◆ Further development to improve PDE is ongoing (\rightarrow VUV4: $\square 6\text{mm}$)

◆ 現状: WLS(TPB)+PMT(QE $\sim 30\%$) \rightarrow 最大10pes/KeVeeを記録。

\rightarrow WLS(TPB) + MPPC (PDE $>50\%$ @420nm) or VUV-MPPC (PDE max ?)

30kg fiducial TPC

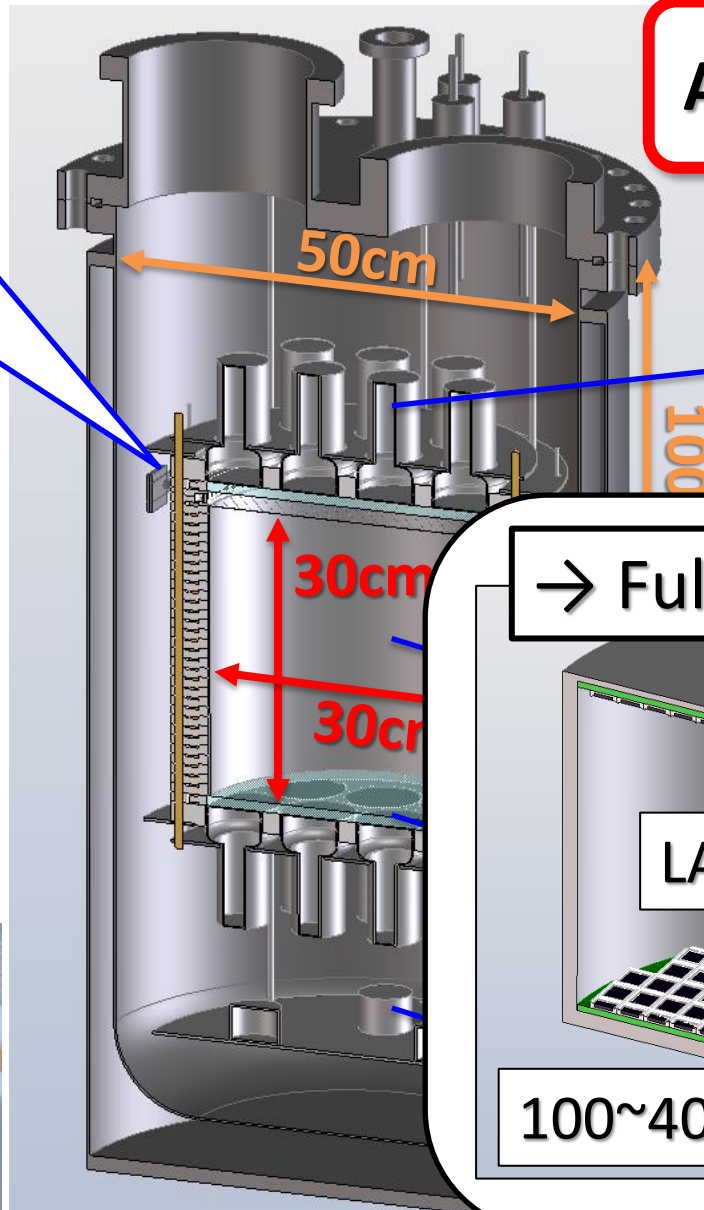
Active mass 30kg

PMT (x24)
R11065MOD

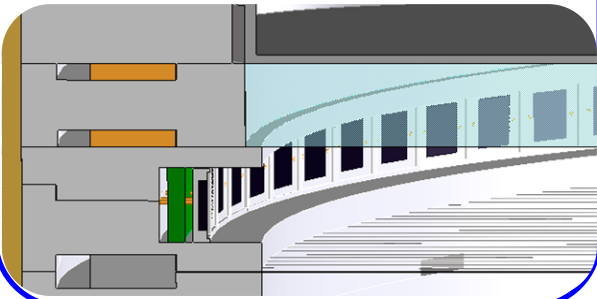
→ Full MPPC option

LAr 3kg~5kg

100~400 MPPCs



VUV MPPC

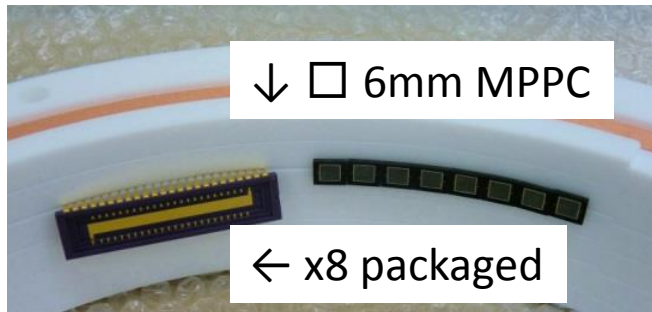


VUV-MPPC prototype



↓ □ 6mm MPPC

← x8 packaged



本検出器の構築状況

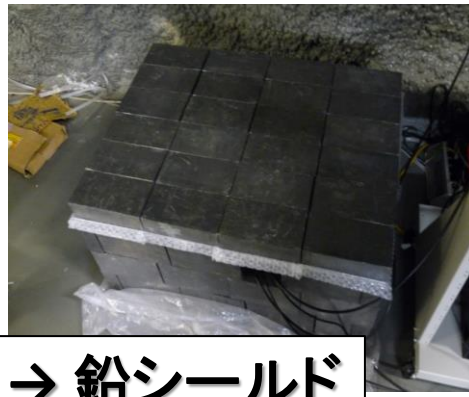
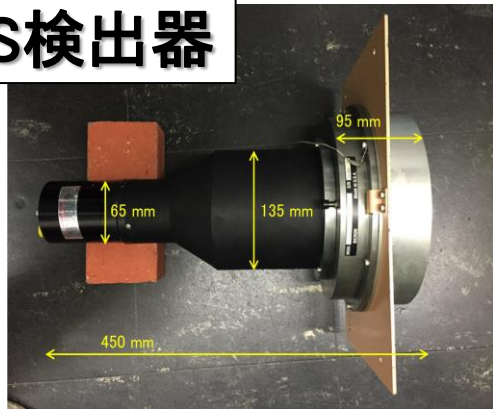
p18



中性子測定コンソーシアム

■ 神戸大・大阪大・名大・東大宇宙線研と協力して推進中(チソコ参照:水越氏ポスター)

LS検出器

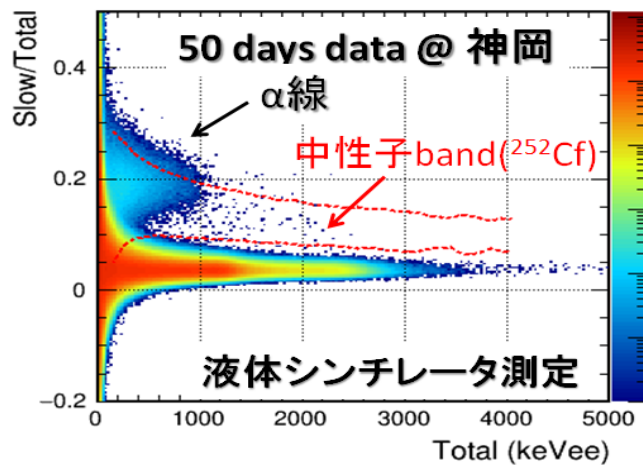


→ 鉛シールド



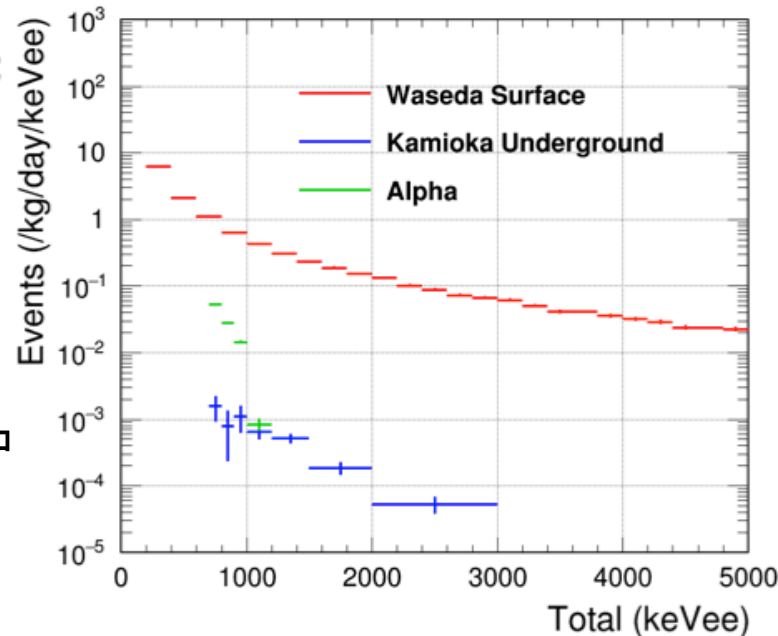
→ ポリエチシールド

◆ Kamioka Lab-B (Newage) での測定結果



← 内部BG(α線)により、800KeVee以下の測定が困難。

- 高純度のLS・容器への改善を検討中
- 3He測定(神戸大)



→ 信頼性の高い地下実験感度評価

まとめ & 公募研究期間の課題

p20

新学術（公募）－3

研究目的（つづき）

② 研究期間内に明らかにすること

質量 $10\text{GeV}/c^2$ 、断面積 10^{-41}cm^2 領域の WIMP の発見 (or 棄却) 感度をもつ実験を遂行するために、以下の研究課題を本研究期間 2 年間で段階的にクリアーする必要がある。

今年度の課題

1. 本実験検出器の完成 (既に TPC 本体の一部は製作済。配管等の実験インフラも実装済。)
2. 本実験検出器の較正と低エネルギー閾値の実現検証
3. 地上実験データを用いた背景事象の詳細理解 (PSD \times S1/S2)
4. 地下施設への移設、地下実験データの取得・解析 (暗黒物質探索)
→ 30kg \times 30days の暗黒物質探索結果を論文にまとめることを最終達成事項とする。
→ 3kg \times 30days でも可能。(設計オプション次第)

◆ まずは TPC 設計の最終決定 (探索実行力証明) と構築:

- a) 30 kg fiducial with PMT only (R11065 \times 24)
- b) 30 kg fiducial with PMT + MPPCs (~100) in gas phase
- c) 3~5 kg MPPCs only (400?) at the highest LY

Normal (visible) MPPC ? or VUV-sensitive MPPC ?

地上で R&D 完遂 → 地下実験に向けた本格的相談